

ВЫВОДЫ:

1. Для получения высоковольтных импульсов значительной амплитуды и необходимой длительности целесообразно подбирать параметры колебательных контуров, образованных источником питания, высоковольтным трансформатором и нагрузкой таким образом, чтобы приближать их собственные частоты к частоте коммутации.
2. Существует интервал линейной зависимости изменения амплитуды высоковольтных импульсов от частоты коммутации.
3. Реализация п.1, п.2 приводит к упрощению изготовления высоковольтного трансформатора и в целом, генератора озона, что приводит к значительному снижению стоимости изготовления последнего.

Список литературы: 1. *Г.А.Месяц*. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 704 с. 2. *Н.П. Поляков*. Наносекундные озонаторы // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 5. – С. 126-129. 3. *К.А.Желтов* Пикосекундные силовоточные электронные ускорители // М., Энергоатомиздат, 1991. – С. 62-85. 4. *Ю.А.Быстров, И.Г.Мироненко* Электронные цепи и устройства // Высшая школа, 1989. – С.49-55.

Поступила в редколлегию 08.11.2007

УДК 621.316.9

Д.Г.КОЛИУШКО, канд.техн.наук; НТУ «ХПИ»

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГООБЪЕКТОВ

У статті представлено опис графічного інтерфейсу, який входить до складу програмного комплексу для проведення розрахунків заземлювальних пристроїв вільної конфігурації.

In article the description of the graphic interface, which is a part of a program complex for calculation of grounding systems of free configuration is presented.

Заземляющее устройство (ЗУ) является обязательным элементом каждого электроэнергообъекта, обеспечивающее, главным образом, нормальное функционирование оборудования и безопасность обслуживающего персонала, а также другие функции, которые подробно освещены в [1]. Начиная с 2003 г. проводится электромагнитная диагностика ЗУ различных объектов электроэнергетики по методике описанной в [2]. Указанная методика состоит из трех основных этапов: экспериментального; расчетного и этапа выдачи рекомендаций [3].

Для выполнения второго этапа электромагнитной диагностики было не-

обходимо разработать программный комплекс для расчета сложных ЗУ произвольной конфигурации различных объектов. При его разработке были учтены следующие особенности:

- ЗУ является трехмерным сложным объектом заранее неизвестной конфигурации, так как программа должна рассчитывать ЗУ находящиеся в эксплуатации по несколько десятков лет, а, следовательно, существенно отличающегося от проекта;
- возможность вводить ЗУ электроэнергетических объектов любых размеров без ограничения числа узлов и соединений;
- из-за сложности геометрической конфигурации необходимо предусмотреть процедуры проверки ошибок исходных данных для обеспечения правильной работы расчетного модуля;
- необходимо иметь возможность рассчитать напряжение прикосновения на всех единицах оборудования при любом аварийном режиме;
- так как количество режимов достаточно велико (например, на подстанциях 220 кВ и выше, а также на узловых подстанциях 110 кВ их количество более 200), требуется обеспечить автоматический расчет всех аварийных режимов, а также выполнить их автоматический анализ;
- при наличии двух и более глухозаземленных нейтралей возможность вводить аварийный ток в несколько узлов одновременно.

Разработанный программный комплекс для расчета ЗУ произвольной конфигурации Grounding 1.0 состоит из трех частей:

- входного интерфейса, который в графической или табличной форме дает возможность ввести исходные данные, например, геометрическую конфигурацию ЗУ;
- расчетной части, в которой производится расчет по введенным исходным данным;
- модуль анализа, в котором производится обработка полученных результатов.

Схема взаимодействия модулей программы в комплексе приведена на рис. 1.

В настоящей работе подробно рассматривается интерфейс программного комплекса. Требование расчета ЗУ произвольной конфигурации определило задание его при помощи способа индивидуального кодирования проводников. В этом случае расчетная схема ЗУ составляется из узлов и связей между ними. Различаются три вида узлов и связей:

- 1) подземный узел (связь) – узел (связь), расположенный под землей на различной глубине. Координата Z у данного вида узлов (связей) больше 0;
- 2) наземный узел (связь) – узел (связь), расположенный на поверхности земли. Координата Z у данного вида узлов (связей) равна 0;

- 3) надземный узел (связь) – узел (связь), расположенный над землей на различной высоте. Координата Z у данного вида узлов (связей) меньше 0.

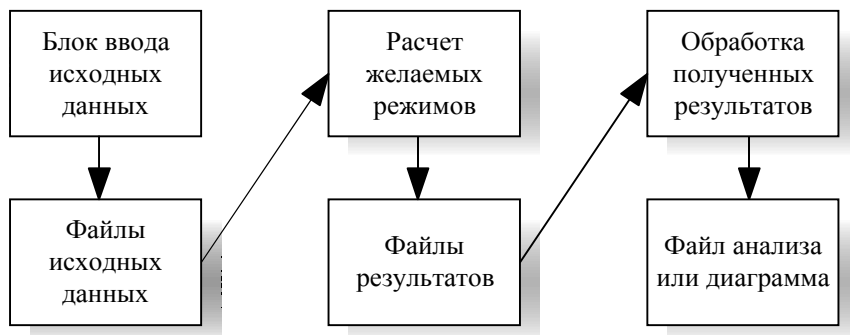


Рисунок 1 – Схема взаимодействия модулей программного комплекса

Каждый узел имеет свой уникальный набор координат X , Y , Z . Узлов, с одинаковыми координатами X и Y может быть три (при координате $Z > 0$, $Z < 0$, $Z = 0$).

На первом этапе необходимо произвести ввод исходных данных. Для реализации ввода разработан графический интерфейс, с целью сокращения возможного количества ошибок при задании геометрической модели заземляющей сетки произвольной конфигурации, по сравнению, например, с табличным интерфейсом. Вначале загружается «подложка», то есть план подстанции с нанесенным на него ЗУ. В качестве «подложки» может быть использован уже нарисованный файл в формате «.bmp». Затем оператор обрисовывает ЗУ по загруженной «подложке». Пересчет из координат экрана в реальные координаты производится автоматически. Данные узлов, которые получаются в результате обрисовки, заносятся в таблицу следующего формата:

где: «№ узла» – это порядковый номер узла, он является уникальным, то есть в одной и той же расчетной схеме нет двух узлов с одинаковым номером;

«Коорд. X », «Коорд. Y » – координаты узла по осям X и Y соответственно;

«Коорд. Z » – глубина залегания узла (положительные значения соответствуют подземным узлам, а отрицательные – надземным);

«Количество связей» – число связей с другими узлами сетки;

«Ширина проводника» – кодированные характерные размеры проводников, отходящих от заданного узла;

«Форма проводника» – форма сечения проводников, отходящих от за-

данного узла;

«Связи» – перечисление номеров узлов, с которыми связан данный узел;

«Оборудование» – в этой колонке располагается название оборудования, если узел расположен на нем. Значение «=» означает, что в данном узле оборудование отсутствует.

Таблица 1

№ узла	Коорд. X	Коорд. Y	Коорд. Z	Количество связей	Ширина проводника	Форма проводника	Связи	Оборудование
1	10,2	5,4	0,5	2	0,016	Пруток	2;3	=
2	20	5,4	0,5	2	0,016	Пруток	1;3;4	=
3	20	18	0,5	2	0,016	Пруток	1;2	=
4	20	5,4	0	1	0,016	Пруток	2	КС-110 ф. «С»

В примере, приведенном выше, задан прямоугольный треугольник с вершинами в точках 1, 2 и 3, расположенный под землей на глубине 0,5 м, выполненный из проводника круглого сечения диаметром 16 мм. Узел 4 расположен на поверхности земли, что соответствует местонахождению оборудования КС-110 ф. «С». Описанный пример приведен на рис. 2.

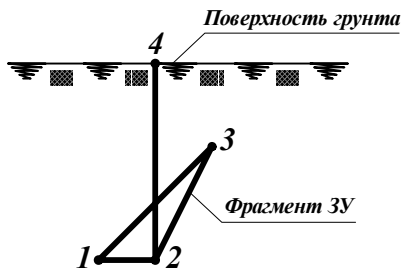


Рисунок 2

Таким образом, табл. 1 заполняется узлами, которые будут составлять расчетную схему ЗУ. Для проведения расчета также необходимы и данные о связях между узлами. Они содержатся в другой таблице, которая создается автоматически из табл. 1 узлов. Она выглядит следующим образом:

где: «№ связи» – уникальный номер связи;

«Индекс связи» – признак, указывающий наземная связь или подземная (если он равен 1 – то подземная, если нулю – наземная или надземная). Это необходимо для расчетной части программы, чтобы не учитывать наземные связи при расчете поля создаваемого заземлителями;

«Начальный узел» – принимаемый узел начала связи;

«Конечный узел» – принимаемый узел конца связи;

«Ширина связи» – размер связи по ширине, второй размер для прямоугольной связи вычисляется как десятая часть размера по ширине, что обусловлено стандартным рядом прямоугольных заземляющих проводников, то есть $40 \times 4 \text{ мм}^2$, $50 \times 5 \text{ мм}^2$ и т. д.;

«Форма связи» – форма сечения связи;

«Глубина связи» – глубина расположения связи относительно поверхности земли;

«Индуктивность связи» – погонное индуктивное сопротивление связи, мкГн/м;

«Сопротивление связи» – погонное активное сопротивление связи Ом/м.

Таблица 2

№ связи	Индекс связи	Начальный узел	Конечный узел	Ширина связи	Форма связи	Глубина связи	Индуктивность связи	Сопротивление связи
1	1	1	2	0,016	Пруток	0,5	0	0
2	1	1	3	0,016	Пруток	0,5	0	0
3	1	2	3	0,016	Пруток	0,5	0	0
4	1	2	4	0,016	Пруток	0,5	0	0

Величины погонных сопротивлений по умолчанию задаются равными нулю и в этом случае они вычисляются в расчетной части программы автоматически. Если эти значения задать в табл. 2, то программа не будет рассчитывать их, а будет использовать введенные.

Применение Borland Database Engine (BDE) позволило решить проблему ввода произвольного числа точек. Кроме того, после полной отрисовки схемы при помощи графического интерфейса есть возможность подкорректировать введенную конфигурацию с помощью таблиц BDE. Разработанный интерфейс также позволяет ввести в произвольное количество точек аварийный ток различной амплитуды.

Пример расчетной схемы подстанции, введенной с помощью разработанного графического интерфейса, приведен на рис. 3.

После того, как введены исходные данные, они сортируются по глубине связей (сначала подземные, у которых $Z > 0$, затем наземные – $Z = 0$, а затем надземные – $Z < 0$). Необходимость сортировки вызвана тем, что при расчете полевой задачи надземные и наземные связи не участвуют, а, следовательно, не учитываются расчетной частью программы. После сортировки введенные данные подвергаются проверке на наличие ошибок. Проверяется наличие не

связанных с общей схемой точек, отсутствие связей больше максимальной (обычно принимается 20 м) или минимальной длины (обычно принимается 0,2 м), а также наложения связей друг на друга.

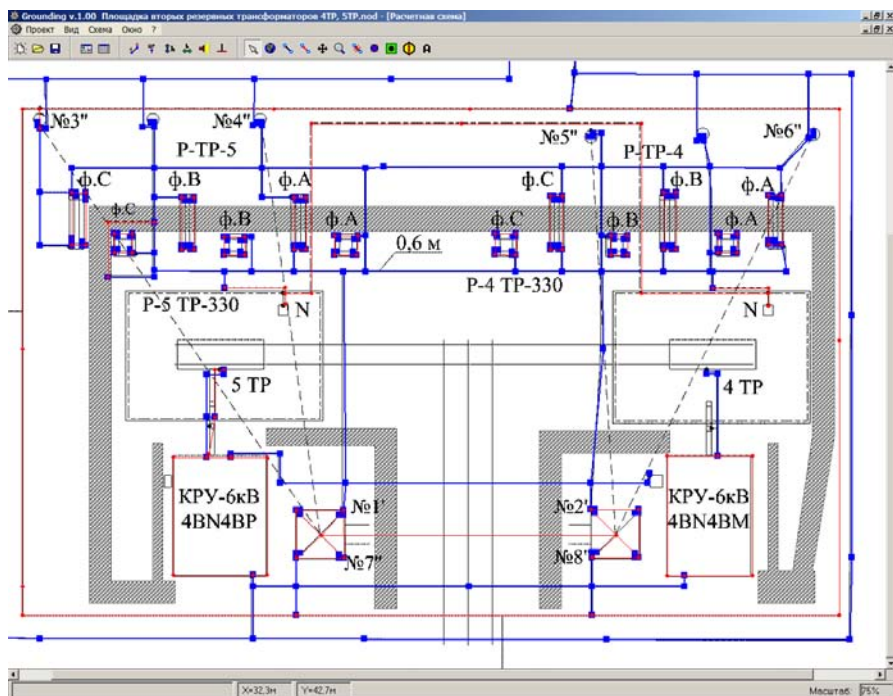


Рисунок 3 – Расчетная схема ЗУ электроэнергообъекта

Исходные данные, введенные с помощью графического интерфейса, сохраняются в семи файлах. Первый из них – файл узлов, содержащий в себе данные табл. 1, за исключением колонки названия оборудования; второй – файл соединений, содержащий в себе данные табл. 2; третий – файл общих параметров, содержащий габаритные размеры подстанции, удельное сопротивление грунта, ток однофазного короткого замыкания; четвертый файл – файл оборудования, который содержит номера точек, расположенных на оборудовании, на котором необходимо производить расчет величины напряжения прикосновения; пятый – файл режимов, в котором указаны номера точек, в которых будет имитироваться режим однофазного короткого замыкания; шестой и седьмой файлы – содержат графический чертеж подземных и надземных соединений соответственно и вместе они составляют геометрию введенного ЗУ.

После окончания ввода исходных данных управление передается рас-

четной части программы, в которой производится расчет ЗУ произвольной конфигурации в двух различных режимах: однофазное короткое замыкание (КЗ) на территории подстанции (рис. 4, а) и однофазное КЗ за пределами подстанции (рис. 4, б). В первом случае ток «втекает» в месте повреждения оборудования и «вытекает» через нейтраль трансформатора, а во втором случае ток «втекает» в нейтраль трансформатора, а «вытекает» в зоне нулевого потенциала.

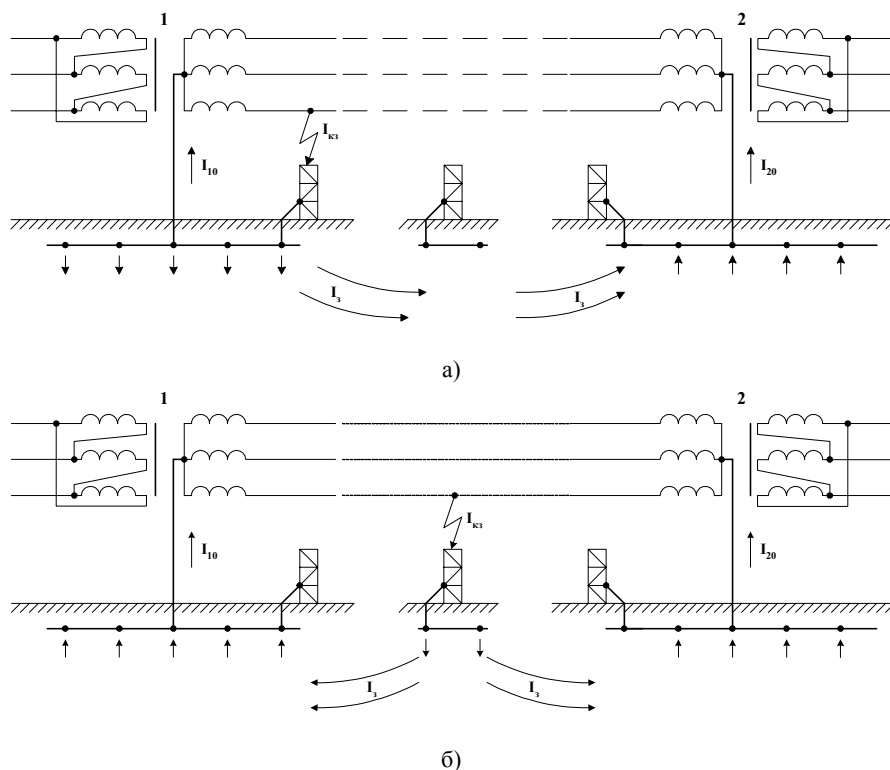


Рисунок 4 – Схема расчетных режимов однофазного КЗ:
а) КЗ на территории подстанции 1; б) КЗ за территорией подстанции 1.

Подробное описание математической модели приведено в [4]. Количество режимов определяется количеством оборудования на объекте, на котором может произойти КЗ. Результатом расчета каждого режима является файл, в который записываются значения потенциалов и напряжений прикосновения на оборудовании. Имеется возможность создания файла для построения эквипотенциальных поверхностей на всей территории объекта при заданном режиме. Картину распределения линий равного потенциала по

данному файлу можно построить, используя программный пакет Windows Surfer.

После проведения расчетов необходимо проанализировать полученные результаты. Для этого в программном комплексе предусмотрен модуль анализа, который служит для того, чтобы обработать файлы, содержащие значения напряжений прикосновения. В качестве исходных данных для анализа в программе задаются допустимые величины напряжения прикосновения, определяемые по [5], в зависимости от времени срабатывания защиты. В модуле анализа учитывается категория оборудования – является ли оно рабочим местом или нет. Для рабочего места принимается величина напряжения прикосновения, определяемая быстродействием резервной защиты. Для всего остального оборудования объекта допустимая величина напряжения прикосновения принимается с учетом времени срабатывания основной защиты. Время срабатывания защиты принимается с учетом времени срабатывания отключающего устройства.

При обработке результатов расчета можно анализировать как все узлы при всех режимах, так и напряжение прикосновения отдельного узла во всех режимах. В первом случае результатом работы программы будет создание таблицы узлов, в которых напряжение прикосновения превышает допустимый уровень. Эта таблица может быть сохранена в текстовом файле, и использоваться при оформлении протокола испытаний объекта. Во втором случае может быть построена гистограмма, пример которой приведен на рис. 4.



Рисунок 4 – Гистограмма напряжений прикосновений оборудования ОМВ

Приведенная гистограмма может быть скопирована в буфер обмена Windows или сохранена в рисунке формата bmp.

Выводы

1. Приведены требования к созданию программного комплекса для расчета сложных ЗУ произвольной конфигурации объектов электро-энергетики.
2. Описаны принцип построения и основные возможности созданного графического интерфейса программного комплекса, а также программы анализа полученных результатов.

Разработанный программный комплекс успешно применяется в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» для расчета ЗУ произвольной конфигурации различных электроэнергообъектов.

Список литературы: 1. Кац Е.Л., Меньшов Б.Г., Целебровский Ю.В. Заземляющие установки высокого и низкого напряжения // Итоги науки и техники. Сер. Электрические станции и сети. – 1989. – № 5. – 158 с. 2. Шкуринский Г.М., Заболотникова Л.П., Колиушко Г.М. и др. Випробування та контроль стану заземлювальних пристроїв електроустановок. Галузевий нормативний документ ГНД 34.20.303-2003. – Київ: Об'єднання енергетичних підприємств «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики». – 2004. – 52 с. 3. Борисов Р.К., Колиушко Г.М., Гримуд Г.И., Васьковский А.П., Чевычелов В.А., Колиушко Д.Г. Методика исследования заземляющих устройств объектов электро-энергетики // Энергетика и электрификация. – 2000. – № 4. – С. 29-32. 4. Линк И.Ю., Колиушко Д.Г., Колиушко Г.М. Математическая модель неэквипотенциального заземляющего устройства подстанции, размещенного в двухслойном грунте // Электронное моделирование. – 2003. – Т. 25, № 2. – С. 99-111. 5. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений и токов. – Введ. 01.07.83. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.

Поступила в редколлегию 14.11.2007

УДК 621.313

А.А.ПЕТКОВ, канд.техн.наук, НТУ «ХПИ»

РАЗРЯД ДВУХ ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ОБЩУЮ НАГРУЗКУ

У роботі досліджена зміна форми імпульсу струму в навантаженні при різних співвідношеннях параметрів схеми. Визначено область співвідношення параметрів, у якій у навантаженні формується уніполярний імпульс струму з монотонним наростанням і спадом.

Change of form of current pulse in the load under different ratios of circuit parameters has been studied in the work. The domain of parameters ratio, in which unipolar current pulse with monotonous rise and drop was formed in the load, was determined.

Постановка проблемы. В практике испытаний технических средств на